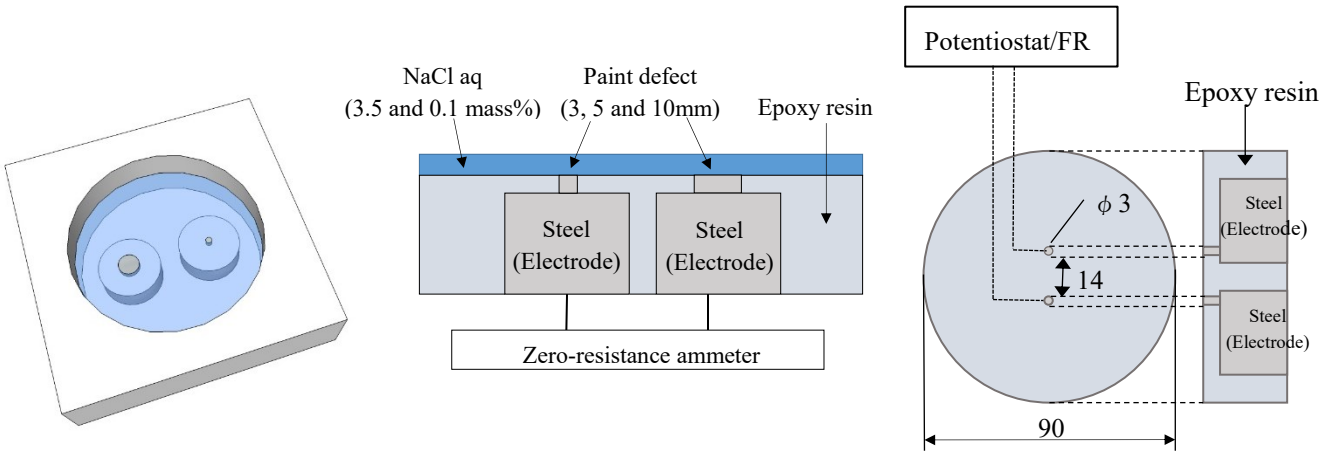
滞水環境における耐候性鋼材の塗膜傷間の鋼材腐食に関する基礎的研究

九州大学大学院　学生会員　○樋口　亮　　九州大学大学院　フェロー会員　貝沼　重信
九州大学大学院　学生会員　長谷川　昂志　　九州大学大学院　正会員　楊　沐野

１．はじめに　飛来海塩環境における塗装鋼 I 桁橋の外桁の内面や内桁などは，紫外線による塗膜劣化が生じにくい．しかし，飛来海塩が付着・蓄積するため，ピンホールや顔料粒子との接触界面等に生じたホリデーを介して，進行性の高いマクロセルによる局部腐食が生じやすくなる．また，腐食は単体の塗膜傷からの進行に加え，複数の塗膜傷が相互干渉しながら進行・結合する場合もある．耐候性鋼橋において，塩類が付着・蓄積する乾湿部位と雨水が滞水する部位近傍などに，著しい腐食損傷が報告されている．著者らは先行研究 [1]において，普通鋼材の滞水環境における近接する複数塗膜傷間の鋼材腐食の電気化学機構について検討した．本研究では滞水環境における耐候性鋼材の近接する 2 つの塗膜傷間の腐食特性について検討することを目的とした．そのために，モデル試験体を製作して，電極間におけるマクロセル腐食電流の測定を行った．また，ミクロセル腐食の電流密度を算出するための EIS 測定も実施した．

２．試験方法　試験体の電極は，耐候性鋼（JIS G3114 SMA490CW）の鋼板（300×200×36mm）を機械加工することで製作した．また普通鋼との比較を行うため，電極材料に普通鋼板（JIS G 3106 SM490A）を用いた同一形状の試験体も製作した．試験体の電極間には，絶縁と電極を固定するためにエポキシ系樹脂を充填した．試験体の概略図を**図-1** に示す．試験体の滞水対象領域の形状は，**図-1 (a)** に示すように径 90mm の円形とし， 1 つの試験体に塗膜傷を模した径の異なる 2 つの電極を配置した．試験体の滞水表面は，240~2000 番の研磨　紙を用いて湿式研磨処理した．試験体の裏側については，**図-1 (b)** に示すように，導線を介して 2 つの電極を接続することで，マクロセル腐食電流を測定するための回路を構築した．電極の組み合わせは，直径 10-3mm および 5-3mm の 2 種類とした．本測定では鋼構造物の滞水部位のように複数の塗膜傷が常時短絡する場合の電気的な相互作用を定量的に把握するために，試験体を NaClaq（水深：5mm，温度：22℃）に浸漬させ，電極間で流れるマクロセル腐食電流を 1 分毎に 24 時間計測した．また，前述した試験と同環境でのミクロセル腐食電流密度を計測するための 2 電極の EIS 試験体を製作した．試験体の回路図を**図-1 (c)** に示す．電極は直径 3mm とし，電極縁端距離は 14mm とした．EIS 測定は 2 電極間の印加電圧を 10mV とし，5mHz から 10kHz までの周波数について実施した．分極抵抗は低周波側の 5mHz の抵抗値と高周波側の 10kHz の抵抗値の差分に電極の表面積を乗じることで算出した．また，ミクロセル腐食の電流密度は，Stern-Geary 定数 [2]を分極抵抗で除すことで算出した．この定数は金属や環境によって変化するが，本研究では工学的検討で一般に用いられる 0.0209V とした．

３．試験結果　インピーダンス特性を**図-2** に示す．すべての条件において，高周波側と低周波側において，インピーダンスが一定値を示している．また，位相差については，-45°を超える領域があることから，均一な電流分布が得られている．この結果から，分極抵抗に基づきミクロセル腐食電流密度を適切に算出できると言える．マクロセル腐食の電流密度 i_{corr} を**図-3** に示す．電極の径によらず電極間の電流値は安定しており，正の値となっている．これは面積の異なる塗膜傷が短絡する場合，面積が大きい塗膜傷がアノードに固定され腐食が進行していることを意味している．また，電極面積の差異が小さくなるほど i_{corr} は増加している．各試験結果から算出した腐食電流密度を

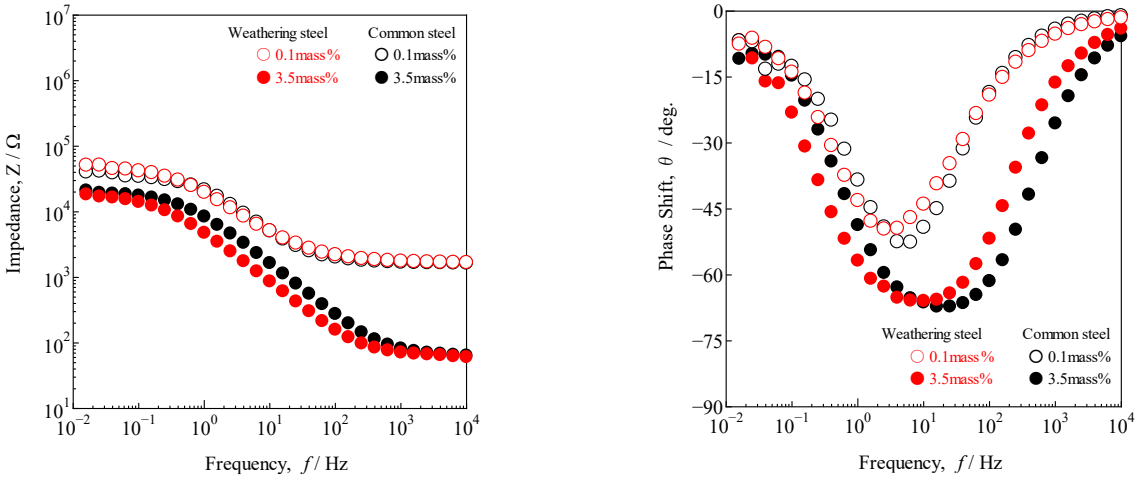


（a）外観図　　（b）断面図　　（c）回路図

図-1 試験体の概略図

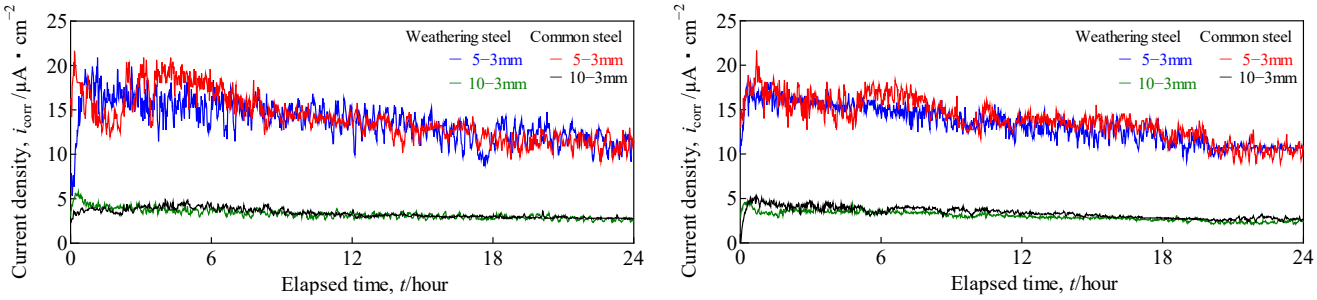
キーワード　腐食，耐候性鋼，塗膜傷，アノード，カソード，マクロセル
連絡先〒819-0395　福岡市西区元岡 744 番地 1104 号室　TEL:092-802-3392

© Japan Society of Civil Engineers



(a) インピーダンス　　(b) 位相差

図-2 インピーダンス特性



(a) 3.5mass% NaClaq　　(b) 0.1mass% NaClaq

図-3 マクロセル電流密度の経時変化

表-1 算出した腐食電流密度（μA/cm^2）

	Current density of Macro-cell		Current density of Micro-cell	
NaClaq concentration (mass%)	0.1	3.5	0.1	3.5
Common steel	12.3	12.1	13.6	28.1
Weathering steel	11.7	12.3	13.2	27.6

表-1 に示す．なお，マクロセル腐食電流密度については 5-3mm 対の値である．いずれの塩水環境において，鋼種によるマクロセルとミクロセルの腐食電流密度に差異はない．これは滞水環境では，早期の腐食反応であるため，耐候性鋼材の緻密な保護性錆は形成されないことが原因として考えられる．また，ミクロセル腐食電流密度について 3.5mass%NaClaq 浸漬時に比して，0.1mass%NaClaq 浸漬時の値が小さくなっている．一方，マクロセル腐食電流密度については，塩水濃度による差異はほとんどない．以上の結果から，0.1mass%NaClaq の滞水環境においては，鋼種に関わらず，マクロセル腐食が 3.5mass%NaClaq 環境と同程度で進行すると言える．

4．まとめ　1)径の異なる塗膜傷が塩水中で短絡すると，鋼種によらず，径の大きな塗膜傷がアノードに固定されて腐食が進行する．2) 1)の環境における初期腐食の場合には，耐候性鋼材と普通鋼材のマクロセルとミクロセルの腐食電流密度には差異は生じない．

参考文献 1)貝沼重信，増本岳，楊沐野，佐島隆生：近接する塗膜傷間における鋼材腐食の電気化学機構に関する基礎的研究，材料と環境，Vol.67, No.11, pp.466-473, 2018.　2) M. Stern and A. L. Geary：Electrochemical Polarization: I. A Theoretical Analysis of the Shape of Polarization Curves, Journal of the Electrochemical Society, Vol.104, No1, pp.56-63, 1957.

© Japan Society of Civil Engineers